

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Pembentukan Sinar-X

Sinar-X adalah pancaran gelombang elektromagnetik yang sejenis dengan gelombang radio, panas, cahaya, dan sinar ultraviolet, tetapi dengan panjang gelombang yang sangat pendek. Sinar-X bersifat heterogen, panjang gelombangnya bervariasi dan tidak terlihat. Perbedaan antara sinar-X dengan sinar elektromagnetik lainnya juga terletak pada panjang gelombangnya dimana panjang gelombang sinar-X sangat pendek, yaitu hanya $1/10000$ panjang gelombang cahaya yang kelihatan. Karena panjang gelombang yang pendek itu, maka sinar-X dapat menembus benda-benda.

Penemu sinar-X yang pertama kali adalah W.C. Rontgen pada tahun 1885 dari Universitas Wozzburg Jerman. Penemuan ini berawal dari pemberian beda potensial antara katoda dan pada tabung sinar katoda. Perbedaan potensial yang besar ini mampu menimbulkan arus elektron sehingga elektron-elektron yang dipanaskan akibat pemanasan filamen akan dipercepat menuju sasaran dalam sebuah tabung hampa udara. Pada tumbukan antara elektron dengan sasaran akan ada energi yang hilang, yakni diubah dalam bentuk sinar-X dan dalam bentuk panas. Untuk memperoleh energi sinar-X yang maksimal serta menghindari terjadinya panas, maka bahan sasaran yang dipilih berbentuk padat dengan kalor jenis besar dan konduktivitas kalor yang kecil. Bahan yang biasa digunakan sebagai anoda adalah platina, wolfram, atau tungsten.

Untuk menghasilkan energi sinar-X yang lebih besar lagi, maka tegangan yang diberikan ditingkatkan sehingga menghasilkan elektron dengan kecepatan yang lebih tinggi. Dengan demikian energi listrik yang dapat diubah menjadi sinar-X juga lebih besar (Meredith, 1977).

2.1.1 Proses sinar-X Bremsstrahlung

Sumber radiasi sinar-X terjadi dalam tabung hampa udara yang berisi filamen yang bertindak sebagai katoda dan sasaran (target) bertindak sebagai anoda. Filamen yang dipanasi oleh arus listrik rendah menjadi sumber elektron. Elektron-elektron ini akan ditarik ke arah anoda oleh perbedaan potensial antara katoda dan anoda. Makin besar beda potensial yang terjadi makin cepat elektron-elektron itu menuju sasaran (anoda). Karena elektron itu menabrak sasaran akibatnya terjadi proses perlambatan, sehingga timbul radiasi sinar-X yang berspektrum kontinu (Krane, 1992).

2.1.2 Proses Sinar-X Karakteristik

Sinar-X dapat juga terbentuk melalui proses perpindahan elektron atom dari tingkat energi tinggi ke energi yang lebih rendah. Sinar-X yang terbentuk melalui proses ini mempunyai energi sama dengan selisih energi antara kedua tingkat energi elektron tersebut. Energi sinar-X karakteristik tersebut dinyatakan dalam :

$$h\nu = E_K - E_L \quad (2.1)$$

dengan $h\nu$ adalah energi foton sinar-X karakteristik, E_K adalah energi ikat elektron pada kulit K dan E_L adalah energi ikat elektron pada kulit L (Khan,1994).

Adanya tingkat-tingkat energi dalam atom dapat digunakan untuk menerangkan terjadinya spektrum sinar-X dari suatu atom. Pada proses ini selisih-selisih energi antar orbit-orbit elektron bersifat unik untuk atom-atom yang berbeda. Perbedaan-perbedaan ini merupakan karakteristik bagi unsur-unsur yang merupakan asal sinar-X tersebut (Cember,1983).

Sinar-X karakteristik ini terjadi karena elektron yang berada pada kulit terionisasi. Kekosongan elektron pada kulit K ini segera diisi oleh elektron dari kulit di atasnya. Jika kekosongan pada kulit K ini diisi oleh elektron dari kulit L, maka akan dipancarkan sinar karakteristik $K\alpha$. Jika kekosongan ini diisi oleh elektron dari kulit M, maka akan dipancarkan sinar-X karakteristik $K\beta$.

2.2 Sifat-sifat sinar-X

a. Daya tembus

Sinar-X dapat menembus bahan, dengan daya tembus sangat besar dan sangat sesuai digunakan dalam diagnostik. Panjang gelombang sinar-X terletak antara 0.001 dan 1 nm atau 0,01-10 Å (Sears & Zemansky). Untuk keperluan diagnosa medis, panjang gelombang sinar-X yang dibutuhkan mempunyai panjang gelombang 0,1-1 Å (Curry dkk,1990). Makin tinggi tegangan tabung (besarnya KV) yang digunakan, makin besar daya tembusnya. Makin rendah berat atom kepadatan suatu benda, makin besar daya tembusnya.

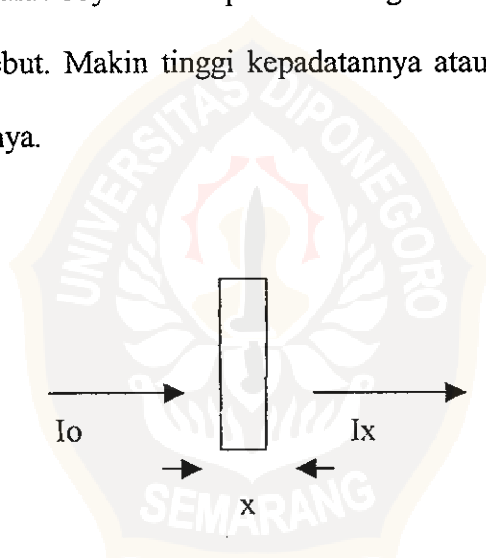
b. Pertebaran

Apabila berkas sinar-X melalui suatu bahan atau suatu zat, maka berkas tersebut akan bertebaran ke segala jurusan menimbulkan radiasi sekunder (radiasi hambur) pada bahan zat yang dilaluinya.

Hal ini akan mengakibatkan gambaran radiograf tampak pengaburan kelabu secara menyeluruh. Untuk mengurangi akibat radiasi hambur ini maka di antara subyek dengan film rontgen diletakkan grid.

c. Penyerapan

Sinar-X yang melalui obyek diserap sesuai dengan berat atom atau kepadatan bahan/obyek tersebut. Makin tinggi kepadatannya atau berat atomnya, makin besar penyerapannya.



Gambar 2.1. Penyerapan Sinar-X

Jika intensitas radiasi sinar-X melalui medium dengan koefisien serapan μ dengan ketebalan x (lihat gambar 2.1) maka perubahan intensitas memenuhi persamaan :

$$I_x = I_0 e^{-\mu x} \quad (2.2)$$

dengan I_x merupakan intensitas setelah menembus medium (watt/m^2), I_0 adalah intensitas mula-mula (watt/m^2), e adalah bilangan basis logaritma alam, μ adalah koefisien atenuasi medium ($1/\text{m}$) dan x adalah ketebalan medium (m)

d. Efek fotografik

Sinar-X dapat menimbulkan efek fotografik dalam bentuk penghitaman plat fotografik. Perak bromida (AgBr) yang merupakan bahan aktif pada emulsi, apabila terkena sinar-X akan terbentuk bayangan laten. Setelah melalui proses pengolahan secara kimiawi dengan larutan pembangkit (developer) akan terbentuk bayangan yang dapat dilihat.

Menurut Bushong (1988) faktor yang menentukan Intensitas sinar-X adalah : beda potensial, kuat arus dan jarak antara target dengan film.

e. Fluorosensi

Sinar-X menyebabkan bahan-bahan tertentu seperti kalsium-tungstet atau zink sulfid memancarkan cahaya (luminisensi), bila bahan tersebut dikenai radiasi sinar-X. Luminesensi ada dua yaitu fluorosensi dan fosforesensi.

f. Ionisasi

Efek primer sinar-X apabila mengenai suatu bahan akan menimbulkan ionisasi partikel-partikel bahan atau zat tersebut.

g. Efek biologik

Sinar-X akan menimbulkan perubahan-perubahan biologik pada jaringan sel
Radiografi (Rasyad,1999)

2.3 Interaksi sinar-X dengan materi

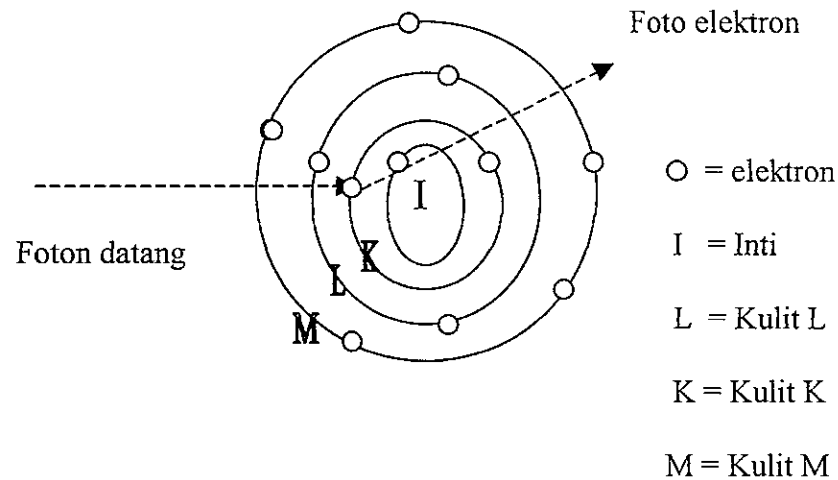
Pada saat sinar-X mengenai suatu bahan atau materi akan terjadi interaksi yang mengakibatkan penyerapan atau penghamburan foton. Tiga proses utama interaksi radiasi dengan bahan adalah efek fotolistrik, efek Compton dan produksi pasangan. Karena energi sinar-X yang digunakan hanya dalam orde KeV, maka proses produksi pasangan tidak terjadi.

2.3.1 Efek fotolistrik

Mekanisme interaksi efek fotolistrik terjadi dominan pada energi foton di bawah 100 keV. Dalam proses fotolistrik seluruh energi foton terserap oleh salah satu elektron yang terikat kuat oleh atom, kemudian elektron tersebut terlempar keluar dari atomnya. Proses fotolistrik akan terjadi bila energi foton yang datang lebih besar dari energi ikat elektron pada atom tersebut (Krane,1982). Jika elektron terlepas dari bahan, selisih antara energi foton yang diserap elektron dan energi ikat muncul sebagai energi kinetik elektron yang dinyatakan dalam persamaan (Beiser,1991) :

$$E_k = h\nu - h\nu_0 \quad (2.3)$$

Dengan E_k merupakan energi kinetik fotoelektron, h adalah konstanta Planck sebesar $6,626 \cdot 10^{-34}$ J.s, ν yaitu frekuensi foton (Hz), ν_0 yaitu frekuensi ambang atau frekuensi minimum yang diperlukan untuk melepaskan elektron dari bahan (Hz), $h\nu$ merupakan energi foton datang (Joule) dan $h\nu_0$ adalah energi ambang (joule).

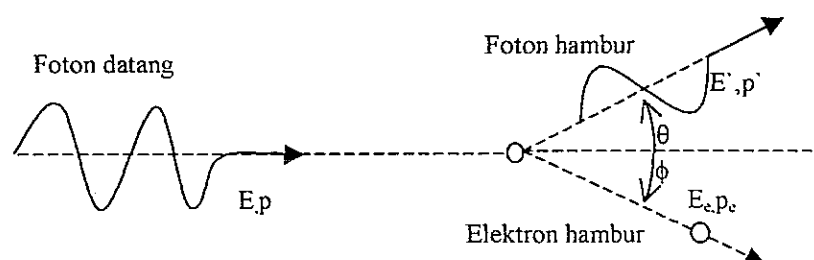


Gambar 2.2 Proses Interaksi Fotolistrik (Akhadi, M, 2000)

2.3.2 Efek Compton

Cara lain radiasi berinteraksi dengan atom adalah melalui efek Compton, dalam mana radiasi dihamburkan oleh elektron hampir bebas yang terikat lemah pada atomnya. Sebagian energi radiasi diberikan kepada elektron, sehingga terlepas dari atom, energi yang sisa diradiasikan kembali sebagai radiasi elektromagnet.

Menurut gambaran gelombang, energi radiasi yang dipancarkan itu lebih kecil daripada energi radiasi radiasi yang datang (selisihnya berubah menjadi energi kinetik elektron), namun panjang gelombang keduanya tetap sama.



Gambar 2.3 Geometri Hamburan Compton (Krane, 1992).

Pada keadaan awal foton memiliki energi : $E = h\nu = hc/\lambda$ (2.4)

Dan momentum, $P = E/c = h/\lambda$ (2.5)

Menurut hukum kekekalan energi hubungan energi sebelum dan sesudah interaksi dapat dinyatakan :

$$hc/\lambda + m_0 c^2 = hc/\lambda' + mc^2 \quad (2.6)$$

dan menurut hukum kekekalan momentum dapat dinyatakan :

$$h/\lambda = h/\lambda' \cos \theta + mv \cos \phi \quad (2.7)$$

$$0 = h/\lambda' \sin \theta - mv \sin \phi \quad (2.8)$$

dengan θ merupakan sudut foton terhambur terhadap garis normal, ϕ adalah sudut elektron terhambur terhadap garis normal; λ adalah panjang gelombang foton datang (m) dan λ' merupakan panjang gelombang foton terhambur (m).

Dari kedua persamaan (2.7) dan (2.8) akan diperoleh perubahan panjang gelombang foton sebesar :

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos \theta) \quad (2.9)$$

dan energi foton terhambur dapat dituliskan :

$$E' = \frac{E}{1 + \frac{E}{m_0 c^2} (1 - \cos \theta)} \quad (2.10)$$

dengan E' merupakan energi foton terhambur (joule), E adalah energi foton datang (joule), m_0c^2 adalah energi diam elektron (joule) dan θ merupakan sudut foton hambur terhadap garis normal.

Dari persamaan (2.9) terlihat bahwa pergeseran panjang gelombang Compton ($\lambda' - \lambda$) untuk setiap arah θ tidak tergantung pada energi foton datang ($h\nu$) dan akan mempunyai nilai maksimum pada $\theta = 180^\circ$. Tetapan $(h/m_0c) = 2,424 \times 10^{-12} \text{ m}$ disebut sebagai panjang gelombang Compton. Sehingga persamaan (2.9) dapat dituliskan :

$$\Delta\lambda = \lambda_c (1 - \cos \theta)$$

atau

$$\Delta\lambda = 2,424 \times 10^{-12} (1 - \cos \theta) \quad (2.11)$$

Panjang gelombang ini sama dengan energi diam elektron, $m_0c^2 = 0,511 \text{ MeV}$.

Hubungan antara energi dalam interaksi Compton (Bushong, 1988) :

$$E_f = E_h + (E_i + E_k) \quad (2.12)$$

Dengan E_f merupakan energi foton datang (joule), E_h adalah energi foton terhambur (joule), E_i adalah energi ikat elektron (joule) dan E_k adalah energi kinetik elektron (joule).

2.4 Radiografi

Radiografi sinar-X adalah ilmu yang mempelajari citra suatu obyek yang diradiasi dengan sinar-X dilewatkan pada suatu obyek maka sebagian radiasi yang ada diteruskan sehingga citra obyek dapat direkam pada sebuah film.

Satuan yang biasa digunakan untuk penyinaran radiografi adalah Rontgen, disingkat R. Satu rontgen dapat diartikan sebagai sejumlah sinar-x yang diperlukan agar menghasilkan ion-ion yang membawa muatan satu stat coulomb tiap centimeter kubik ($R = 1 \text{ stc/cm}^3$) di udara dengan suhu nol derajat celcius pada tekanan 760 cmHg.

Satu rontgen dari radiasi foton mempunyai energi rata-rata antara 0,1 Mev-3,0 Mev yang mampu menghasilkan dosis serap sebesar 0,96 rad. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa radiasi foton sebesar satu rontgen yang diserap oleh jaringan tubuh manusia mampu menghasilkan dosis serap sebesar 1 rad. $1 \text{ rad} = 1 \text{ R}$ (Hoxter,1973).

Faktor eksposi merupakan faktor-faktor pada saat penyinaran sinar-X yang bergantung pada beberapa hal yaitu : ukuran/ tebal obyek, kelainan patologis dan pergerakan obyek (Rasyad,1999).

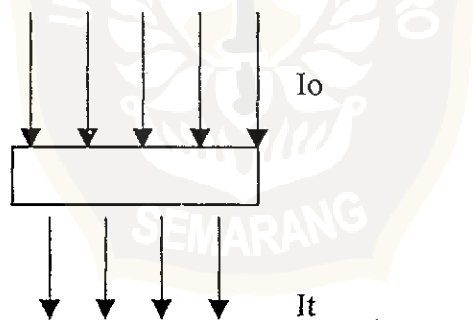
2.5 Kualitas Radiografi

Kualitas radiografi yang baik sangat diperlukan untuk membantu menegaskan diagnosa suatu penyakit. Kualitas radiografi dapat didefinisikan sebagai kemampuan radiografi untuk menghasilkan pola gambar dari sinar-X yang melalui obyek (Chesney,1981).

Suatu radiograf dikatakan memiliki kualitas yang baik apabila menghasilkan gambaran yang tepat, tanpa penambahan, pengurangan dan perubahan bentuk bayangan. Faktor-faktor yang menentukan dalam penilaian kualitas radiografi antara lain:

2.5.1 Densitas

Karakteristik film sinar-X memiliki karakteristik yang menggambarkan sensitivitas emulsi film yang berbeda antara film yang satu dengan yang lainnya. Sensitivitas emulsi terhadap sejumlah penyinaran yang diterimanya dapat dilihat dari densitas setelah film tersebut mengalami prose pencucian. Densitas diartikan sebagai jumlah atau derajat penghitaman dari film yang disebabkan oleh sejumlah penyinaran. Apabila film dipapari radiasi maka intensitas cahaya yang diteruskan setelah melewati film akan berkurang karena terserap oleh logam perak yang terbentuk pada lapisan emulsi film.



Gambar 2.4. Diagram paparan radiasi

Nisbah antara intensitas cahaya sebelum mengenai film (I_o) dengan intensitas cahaya setelah menembus film (I_t) didefinisikan sebagai densitas film. Karena nilai nisbah pada umumnya besar maka digunakan logaritma.

Sehingga densitas film dapat dirumuskan dalam persamaan berikut yaitu (Meredith dkk,1977) :

$$D = \log \frac{I_o}{I_t} \quad (2.13)$$

Dengan D merupakan densitas, I_o adalah intensitas radiasi sinar-X datang dan I_t merupakan intensitas radiasi sinar-X yang diteruskan ke film. Densitas yang digunakan dalam diagnostik berkisar antara 0,2 sampai 2,0.

2.5.2 Kontras

Merupakan perbedaan derajat kehitaman antara bagian-bagian yang membentuk gambar. Radiograf dikatakan memiliki kontras yang baik apabila bagian yang satu dengan yang lainnya dapat dibedakan. Secara garis besar kontras dapat dibedakan menjadi dua bagian :

- a. **Kontras obyektif** yaitu kontras sebenarnya dan dapat diukur dengan alat densitometer dalam bentuk angka. Yang termasuk dalam kontras obyektif adalah kontras radiasi yaitu perbedaan intensitas radiasi yang diteruskan ke film yang disebabkan oleh perbedaan daya serap bahan terhadap sinar-X dalam memberikan perbedaan penghitaman. Kontras film biasanya dinyatakan sebagai gradien rata-rata dalam kurva karakteristik film. Serta kontras radiografi adalah perbedaan penghitaman dari dua daerah yang berbeda. Perbedaan densitas dapat diukur dengan densitometer.

Untuk menentukan nilai kontras yaitu dengan mengurangi nilai densitas yang besar dengan densitas yang kecil. Hasilnya merupakan kontras radiografi yang dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$C = D_2 - D_1 \quad (2.14)$$

Dengan C merupakan kontras radiografi, D_2 adalah densitas yang besar dan D_1 adalah densitas yang kecil.

b. Kontras subyektif yaitu kontras yang dipengaruhi oleh kondisi penglihatan pada masing-masing individu dimana pada masing-masing individu akan berbeda pula bila kondisi penglihatan berbeda. Kontras subyektif tidak dapat dinilai dalam bentuk angka. Kontras radiografi tergantung pada kontras organ yang diperiksa dan kontras film. Kontras organ yang diperiksa dipengaruhi oleh ketebalan, densitas dan perbedaan atom dari organ yang diperiksa, energi radiasi dan material kontras, sedangkan kontras film tergantung tergantung pada faktor karakteristik film, pemakaian lembar penguat (intensifying screen) dan pemrosesan film (Curry dkk,1990).

2.5.3 Ketajaman

Yaitu lebar batas antara dua daerah yang memiliki ketajaman yang tinggi bila lebar batas antara dua daerah berlainan adalah sempit. Kualitas radiografi yang baik bila memiliki ketajaman yang tinggi, tetapi kebalikannya apabila ketajaman rendah maka kualitas radiografi menjadi rendah.

2.5.4 Detail

Detail radiografi menggambarkan ketajaman dari struktur-struktur kecil pada radiograf. Dengan detail yang baik, bagian yang kecil dari anatomi akan tampak jelas (Bushong,1988). Detail gambar tergantung dari tingkat ketajaman detail dan kontras artinya apabila detail tidak tajam dengan menaikkan kontras maka detail dapat ditinggalkan sebaliknya bila diperoleh detail yang tajam dan kontras yang kecil maka akan mempunyai detail yang baik.

